

TD4

Asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu

1 Modélisation

Un moteur électrique est un convertisseur d'énergie. Il consomme de l'énergie électrique $u(t)i(t)$ et il fournit de l'énergie mécanique $C_m(t)\omega(t)$. Il est défini à l'aide de ses composantes électriques R (résistance) et L (inductance); ainsi que de ses caractéristiques mécaniques, son moment d'inertie J_m ainsi que de ses caractéristiques électromécaniques qui permettent de relier le couple moteur $C_m(t)$ à l'intensité qui parcourt le circuit; et la tension à la vitesse $\omega(t)$.

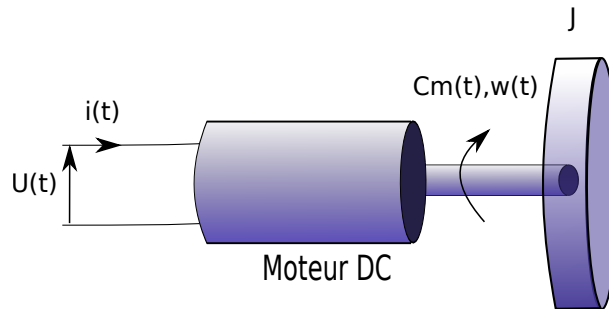


FIGURE 1 – Moteur DC et Charge

Le fonctionnement est décrit par les équations mécaniques et électro-mécaniques suivantes :

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + E_m(t) \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) \quad (2)$$

$$E_m(t) = K_c \omega(t) \quad (3)$$

$$C_m(t) = K_c i(t) \quad (4)$$

où $C_r(t)$ représente les couples résistants présents. Si le moteur entraîne une charge, le moment d'inertie total est $J = J_m + J_c$ où J_c est le moment d'inertie de la charge.

Vérifier que le montage Xcos suivant correspond aux équations précédentes :

Moteur à courant continu, schéma en BO, réponse indicielle

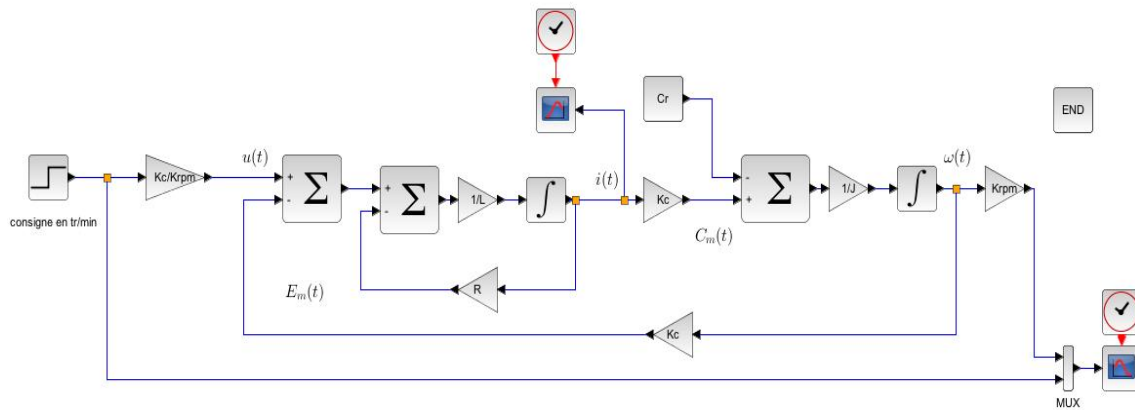


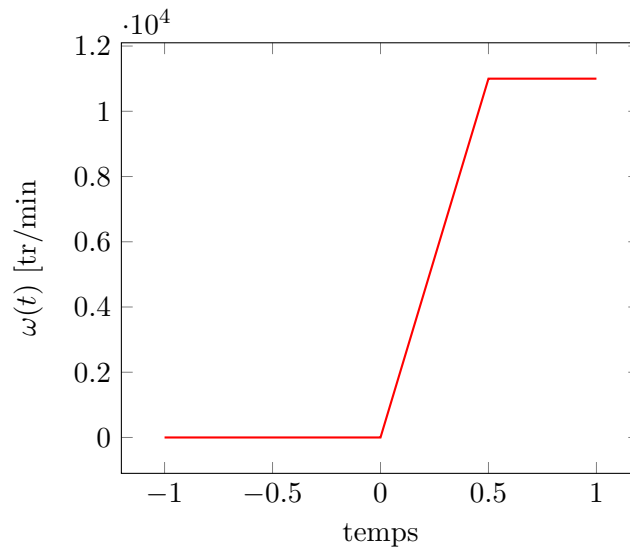
FIGURE 2 – Montage Xcos

La consigne est une vitesse exprimée en tr/min. Elle est construite en utilisant le bloc **Signal Builder** qui se trouve dans la palette **Sources**. Consulter l'aide pour sa paramétrisation. Le contexte est basé sur la documentation technique du moteur (voir annexe)

```
R=0.8;
L=400E-6;
Kc=20.52E-3;
J=180E-7;
Cr=9.23E-3;
Krpm=60/(2*pi); // conversion tour/min rad/sec
Kd=0.001;
G=1;
Ts=1;
```

2 Utilisation en boucle ouverte

1. Faire une simulation en mettant en consigne un échelon de vitesse de 0 à 11000 [tr/min]. Visualiser l'évolution de la vitesse $\omega(t)$ et du courant $i(t)$. Commenter les résultats. Que pensez-vous des valeurs atteintes par le courant ?
2. Dans la documentation du moteur le couple maximum est de $C_{max} = 42.68 \cdot 10^{-3}$ Nm. En utilisant la relation $J \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m$ calculer le temps nécessaire au moteur pour passer de 0 tr/min à 11000 tr/min avec le couple maximum. Ainsi pour limiter le couple et donc le courant on va utiliser une consigne trapézoïdale avec une pente égale à l'accélération maximale préconisée :



Faire une simulation pour vérifier que la valeur du courant est maintenant inférieure à 2.833A valeur maximale admissible (cf documentation du moteur).

Le temps trouvé dépend-il de la charge ?

- Déterminer la forme de la fonction de transfert $M_{\Omega}(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$ en supposant que $C_r = 0$. Donner ses caractéristiques (gain statique, pulsation propre et facteur d'amortissement) en fonction des éléments présents dans la modélisation.

Faire les applications numériques pour le moteur à vide et le moteur entraînant une charge dont le moment d'inertie est 9 fois supérieur à celui du rotor du moteur.

- Montrer que l'on peut écrire

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_m}{1 + \tau_m p + \tau_m \tau_e p^2}$$

avec $\tau_m = RJ/K_c^2$ constante de temps mécanique et $\tau_e = L/R$ constante de temps électrique.

Déterminer la pulsation propre et le facteur d'amortissement en fonction de τ_m et τ_e .

Faire les applications numériques pour le moteur à vide puis chargé.

- Quelles approximations doit-on faire pour pouvoir écrire

$$\frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{K_m}{(1 + \tau_m p)(1 + \tau_e p)}$$

Peut-on les faire avec ce moteur ?

- En utilisant la commande `csim` de Scilab comparer les réponses indicielles des trois fonc-

tions de transfert suivantes :

$$M_1(p) = \frac{K_m}{1 + \tau_m p + \tau_m \tau_e p^2}$$

$$M_2(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_m p)(1 + \tau_e p)}$$

$$M_3(p) = \frac{K_m}{(1 + \tau_m p)}$$

On le fera pour le moteur à vide et pour le moteur chargé. Que peut-on en conclure ?

7. Supposons maintenant que $C_r \neq 0$. Donner l'expression de la vitesse $\Omega(p)$ en fonction de $U(p)$ et de $C_r(p)$

3 Boucle de vitesse

On utilise un capteur de vitesse dont le gain est $K_d = 0.001$ V/tr/min soit 1 V pour 1000tr/min. Pour la simulation on utilisera le montage suivant :

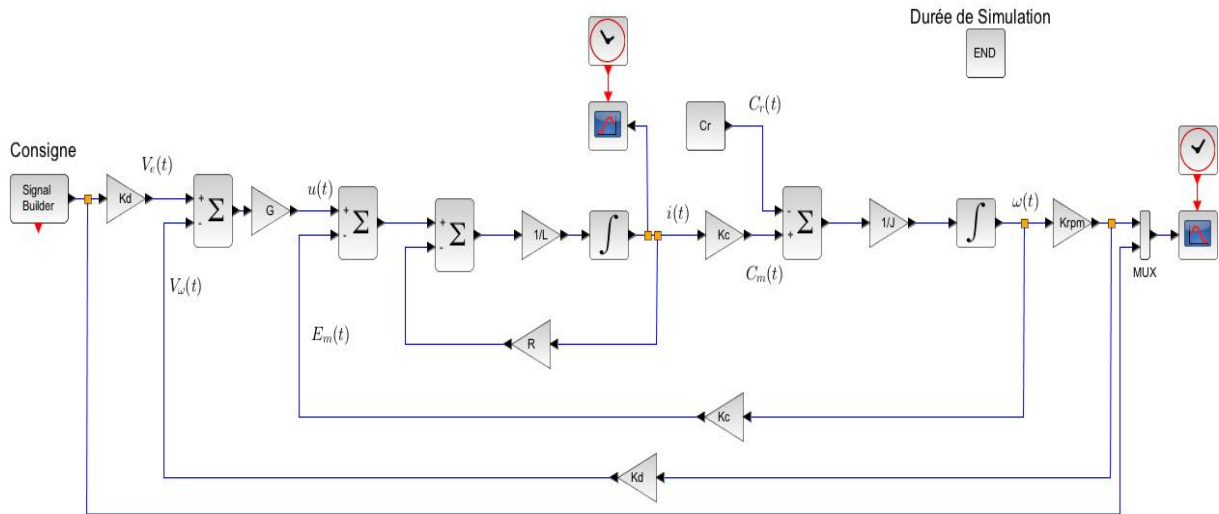


FIGURE 3 – Montage Xcos

et pour la théorie on supposera que $C_r = 0$.

1. Calculer théoriquement l'expression de la fonction de transfert en boucle fermée $V_\omega(p)/V_e(p)$ en utilisant le modèle $M_1(p)$. En déduire son gain statique, sa pulsation propre et son facteur d'amortissement en fonction de G .
2. Calculer le gain G donnant une erreur de position normalisée ou relative de 1%. Pour cette valeur calculer la pulsation propre ω_0 et le coefficient d'amortissement z en boucle fermée.

Que peut-on en conclure sur la forme de transitoire ? En utilisant les commandes Scilab `evans` et `sgrid(z,w0)` retrouver graphiquement la valeur du gain.

Que peut-on en conclure sur le dilemme précision - dépassement ?

3. Faites une simulation et vérifiez les performances. Que pensez-vous du courant ? Comment peut-on faire pour limiter sa valeur ?
4. On décide d'utiliser un correcteur intégral $C(p) = \frac{1}{p}$ en cascade avec le gain G . Que devient alors l'erreur de position ? On veut en boucle fermée un coefficient d'amortissement de 0.7. Tracer le lieu d'Evans et trouver graphiquement la valeur de G adéquate.
5. Faites une simulation après avoir ajouté un intégrateur. Mesurer le dépassement. Est-il correct ? Que pensez-vous de la rapidité ? Que pensez-vous du courant ?
6. On décide d'utiliser un correcteur proportionnel-intégral $C(p) = \frac{1+\tau_i p}{\tau_i p}$ en cascade avec le gain G . Que devient alors l'erreur de position ?
Expliquer pourquoi il semble judicieux de prendre $\tau_i = \tau_m$?
On veut en boucle fermée un coefficient d'amortissement de 1. Tracer le lieu d'Evans et trouver graphiquement la valeur de G adéquate.
7. Faites une simulation après avoir ajouté le correcteur proportionnel-intégral (utiliser le bloc `CLR` présent dans la palette `Systemes à temps continu`).
La réponse indicielle est-elle correcte ?

NEW



DC-Micromotor

Graphite Commutation

42,7 mNm

For combination with:

Gearheads:

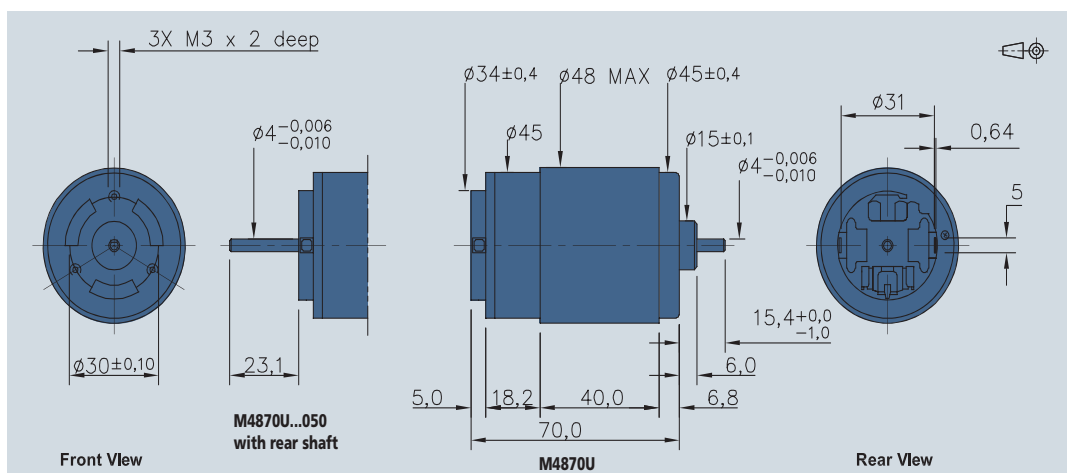
M42P

Encoders:

E4P-300

Series M4870U

M4870U		24GB	
1 Nominal voltage	U_N	24	Volt
2 Winding resistance	R	0,80	Ω
3 Output power	$P_{2 \text{ max.}}$	174,64	W
4 Efficiency	$\eta_{\text{max.}}$	77	%
5 No-load speed	n_o	11 000	rpm
6 No-load current max.	I_o	0,45	A
7 Stall torque	M_H	615,67	mNm
8 Friction torque	M_R	9,24	mNm
9 Speed constant	k_n	465	rpm/V
10 Back-EMF constant	k_E	2,15	mV/rpm
11 Torque constant	k_M	20,52	mNm/A
12 Current constant	k_i	0,049	A/mNm
13 Slope of n-M curve	$\Delta n / \Delta M$	18	rpm/mNm
14 Rotor inductance	L	400	μH
15 Mechanical time constant	τ_m	34	ms
16 Rotor inertia	J	180	gcm^2
17 Angular acceleration	$\alpha_{\text{max.}}$	34	$\cdot 10^3 \text{ rad/s}^2$
18 Thermal resistance	R_{th1} / R_{th2}	6,3 / 7,3	$^{\circ}\text{C/W}$
19 Thermal time constant	τ_{w1} / τ_{w2}	720 / 1 320	s
20 Operating temperature range:			$^{\circ}\text{C}$
– motor		– 10 to + 50	$^{\circ}\text{C}$
– rotor, max. permissible		+ 155	$^{\circ}\text{C}$
21 Shaft bearing		ball bearings	
22 Shaft load max.:			
– with shaft diameter		4	mm
– radial at 3 000 rpm (3 mm from bearing)		8,8	N
– axial at 3 000 rpm		785	N
– axial at standstill (shaft supported)		2	N
23 Shaft play			
– radial (13 mm from motor face)	\leq	0,04	mm
– axial	\leq	0,05 to 0,5	mm
24 Housing material		steel, zinc plating (chrome free)	
25 Weight		370	g
26 Direction of rotation		counter clockwise, viewed from the front face	
27 Speed up to	$n_e \text{ max.}$	11 000	rpm
28 Torque up to	$M_e \text{ max.}$	42,680	mNm
29 Current up to (thermal limits)	$I_e \text{ max.}$	2,833	A



For notes on technical data and lifetime performance refer to "Technical Information".
Edition 24.07.2007

Specifications subject to change without notice
www.micro-drives.com

FIGURE 46 Annexe